Über Wurzelausscheidungen und deren Einwirkung auf organische Substanzen.

Von Dr. **Hans Molisch**,
Privatdocenten an der k. k. Wiener Universität.

(Arbeiten des pflanzenphysiol. Instit. der k. k. Wiener Universität. XXXVII.

(Vorgelegt in der Sitzung am 13. October 1887.)

Die Frage, ob die Pflanzen durch ihre Wurzeln Stoffe ausscheiden und ob diesen Stoffen irgend welche Bedeutung im Leben der Pflanze zukomme, hat namentlich die älteren Physiologen vielfach beschäftigt. Brugmans, Hedwig, de Candolle, Macaire Prinsep, Braconnot, Unger, Meyen und Walser[1] wandten ihre Aufmerksamkeit der Wurzelsecretion zu, ohne jedoch zu sicheren Resultaten zu gelangen. Nicht einmal in der Hauptfrage, ob die Wurzeln überhaupt Substanzen ausscheiden, war man einig.

Fast alle in dieser Richtung unternommenen Versuche kranken an einem methodischen Fehler, welcher jedes Resultat schon von vorneherein zweifelhaft erscheinen lassen musste.

Man arbeitete nämlich stets mit Pflanzen, welche unmittelbar vor dem Versuche aus dem Boden ausgehoben wurden und deren Wurzelsystem in Folge dessen namentlich in jenen Theilen, auf die es ganz besonders ankam, in hohem Grade beschädigt war. Erfolgten sodann, nachdem die Wurzeln abgespült und ins Wasser eingestellt worden waren, Ausscheidungen, so konnten dieselben ebenso gut aus den vielen Wunden wie aus der Oberfläche der Wurzeln herrühren; etwas Bestimmtes liess sich also darüber gar

[1] Ziemlich ausführlichen Bericht über die Untersuchungen und Ansichten genannter Physiologen findet man bei Meyen (Neues System der Pflanzenphysiologie II. Bd., S. 524—530), Treviranus (Physiologie II. Bd. S. 110—119) und Mohl (Anatomie u. Physiologie der org. Zelle, S. 253 bezw. 86).

nicht aussagen — dies umsoweniger, als sich bei derartigen Versuchen sehr bald Bakterien eingestellt und an der Veränderung der Versuchsflüssigkeit auch mitgewirkt haben dürften. Bei dem damaligen Stande der Bakterienkunde hat man begreiflicherweise diesen Umstand gar nicht in Betracht gezogen.

Die ersten vorwurfsfreien Versuche über Wurzelausscheidungen verdanken wir Sachs.[1] Er hat in ebenso einfacher als anschaulicher Weise dargethan, dass die Wurzeln verschiedener Pflanzen (Bohnen, Mais, Weizen, Kürbis, Erbsen und Tropaeolum) saure Substanzen ausscheiden, vermöge welcher sie im Stande sind, polirte Marmor-, Dolomit-, Magnesit- und Osteolith (Apatit)-Platten zu corrodiren und die hiebei in Lösung gebrachten Kali-, Kalk-, Magnesia- und Phosphorverbindungen zur Ernährung zu verwenden. So gelangte der genannte Physiologe zur Erkenntniss, dass die Pflanze bei ihrer Nahrungsaufnahme sich nicht ganz passiv, sondern auch activ verhält und dass ihre Wurzeln das anorganische Material des Bodens anzugreifen, beziehungsweise aufzulösen vermögen.

Eine Einwirkung der Wurzelausscheidungen auf organische Körper wurde bisher nicht erkannt. Zweck der vorliegenden Abhandlung ist es nun, hauptsächlich zu zeigen, dass die Wurzel durch ihr Secret auch organische Körper beeinflusst, und zwar in noch höherem Grade als dies bei den erwähnten Mineralien und Gesteinen der Fall ist, da es sich hiebei nicht blos um eine blosse Auflösung, sondern um eine factische chemische Umwandlung handelt.

I.

Das Wurzelsecret wirkt reducirend und oxydirend.

Giesst man — wie dies zuerst Sachs[1] gethan hat — in das Wasser, in welchem Keimlinge ihre vollständig unverletzten Wurzeln entwickelt haben, eine verdünnte Lösung von übermangansaurem Kali, so wird die Säure in kurzer Zeit an der

[1] Experimentalphysiologie. S. 189, ferner Bot. Ztg. 1860, S. 188 ff.

Wurzeloberfläche reducirt. Hiebei belegt sich die Wurzel mit einem feinen Niederschlag von Braunstein und färbt sich braun.[1] Daraus schloss Sachs, dass die Oberfläche der Wurzel von einer organischen[2] Substanz durchtränkt ist, welche dem Kaliumpermanganat leicht Sauerstoff entreisst, mithin reducirend wirkt.[3] Mit unverletzten Stengeln und Blättern gelingt dieser Versuch nicht.

Noch lehrreicher ist es,[4] Keimlinge mit ihren Wurzeln erst längere Zeit ($^1/_2$—1 Tag) im Wasser vegetiren zu lassen, dann herauszunehmen und hierauf etwas übermangansaures Kali ins Wasser zu giessen. Nach kurzer Zeit findet Entfärbung statt, während eine solche bei dem entsprechenden Versuch mit Blättern nicht oder nur in ganz geringem Grade zu constatiren

---

[1] Ein ähnliches Experiment empfiehlt Nobbe (Handbuch der Samenkunde. Berlin 1876, S. 215), um die Grenze zwischen Würzelchen und Hypokotyl zu veranschaulichen: „legt man einen Keimling in eine Lösung von übermangansaurem Kali, so saugt die Oberhaut der Wurzel die Flüssigkeit auf und es wird durch Reduction der Übermangansäure das Würzelchen gebräunt, während das hypokotyle Stammstück ungefärbt bleibt.“ Jedenfalls weist auch dieser Versuch auf ein verschiedenes physiologisches Verhalten der Wurzel- und Stammepidermis hin.

[2] Gewisse anorganische Körper, z. B. Nitrite und Eisenoxydulsalze reduciren zwar Kaliumpermanganat auch, allein die ersteren kommen, wie ich vor kurzem nachgewiesen (Über einige Beziehungen zwischen anorganischen Stickstoffsalzen und der Pflanze. Sitzb. der k. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. XCV, Jahrg. 1887, I. Abth. Maiheft) habe, in der Pflanze nicht vor und die letzteren sind, wenn überhaupt vorhanden, schon ihrer ausserordentlich geringen Menge wegen bei dem obigen Wurzelversuch gewiss nicht im Spiele.

[3] Nach Knop (Lehrbuch der Agriculturchemie, Leipzig 1868, S. 613) soll auch die Schwefelsäure und das weisse phosphorsaure Eisenoxyd, das sich bei Wasserculturen auf dem Boden des Gefässes absetzt durch eine in der Wurzel vorhandene Substanz reducirt werden, wobei sich an jenen Stellen, wo die Wurzelenden den weissen Absatz berühren, ein schwarzer Körper, nämlich Schwefeleisen bildet. Darüber scheinen mir jedoch noch genauere Versuche mit zuverlässig gesunden Wurzeln nothwendig.

[4] Dies nach einer Mittheilung, die ich Herrn Prof. Wiesner verdanke. Mit Rücksicht auf den vorhergehenden Versuch ist es wichtig zu wissen, dass reine Cellulose von übermangansaurem Kali nicht gebräunt wird, wohl aber Cellulose, welche mit organischen Substanzen imprägnirt ist. Vergl. darüber Wiesner, Über die Zerstörung der Hölzer an der Atmosphäre. Diese Berichte 1864. XLIX. Bd. S. 11 d. Separatabdruckes.

ist. Damit ist aber bewiesen, dass die organische Substanz die Membranen der Wurzeloberfläche nicht blos durchtränkt, sondern auch in das umgebende Medium ausgeschieden wird.

Da ein und dieselbe Substanz je nach der Natur des mit ihr zusammentreffenden Körpers bald reducirend, bald oxydirend wirken kann, so war es von vorneherein nicht ganz unwahrscheinlich, dass auch das Wurzelsecret, zumal wir es hier zweifellos mit einem Stoffgemenge zu thun haben, sich entsprechend verhalte. Dem übermangansauren Kali gegenüber, welches Sauerstoff nur locker gebunden enthält, erweist es sich allerdings als ein schwach reducirender Körper, allein nicht so gegen leicht oxydable Substanzen, wie z. B. gegen Guajak, Pyrogallussäure, Humus u. s. w., denn auf alle diese Stoffe wirkt, wie durch nachstehende Versuche bewiesen werden wird, das Wurzelsecret oxydirend. Zuvor möge hier noch ein für alle Mal bemerkt sein, dass, falls nicht etwas Anderes ausdrücklich hervorgehoben wird, die benutzten Versuchspflanzen nahezu vom ersten Keimungsstadium an im Brunnenwasser (Wiener Hochquellenleitung) nach Art der „Wassercultur en", und zwar in den ersten Tagen im Finstern, dann aber am Lichte gezogen wurden. So erhielt ich leicht eine grössere Anzahl von jungen Pflanzen mit wohl verzweigtem und vollständig unverletzem Wurzelnetz. Sobald die Keimlinge ein Alter von 2—3 Wochen erreichten, wurden sie zu den Versuchen verwendet.

1. Versuch. Aus einem Zweilitergefäss, in welches 5 etwa 14 Tage alte Bohnenkeimlinge tauchten, wurden 5 CC. Flüssigkeit in eine Eprouvette abgegossen, und mit etwa 10 Tropfen frisch bereiteter, weingeistiger Guajakharzlösung versetzt.

Nach 5 Minuten färbte sich die Emulsion grünlich.

„ 10 „ „ „ „ „ blaugrün.

„ $^1/_2$ Stunde „ „ „ „ tief blaugrün.

2. Versuch. Eine Probe Flüssigkeit aus einem Culturgefässe mit 30 Maispflanzen wurde in derselben Weise behandelt wie bei Versuch 1. Resultat im Wesentlichen wie vorher, nur deutlicher.

Viel auffallender und rascher erfolgt die Bläuung des Guajakharzes, wenn man die Keimlinge mit ihren Wurzeln in verhältnissmässig nur wenig Wasser taucht, einige Zeit darin lässt, und dann mit Guajak versetzt.

3. Versuch. Zwei Bohnenpflanzen wurden mit ihren Wurzeln in ein mit circa 20 CC. destillirten Wassers versehenes kleines Becherglas getaucht, darin 5 Minuten belassen und sodann das Wasser mit Guajak geprüft.

Emulsion nach 1 Minute bereits tiefblau!

4. Versuch. Alles wie bei Versuch 3, nur wurde Brunnenwasser anstatt destillirten Wassers verwendet.

Emulsion nach 1 Minute deutlich gelbgrün.
„ „ 10 „ tief blaugrün.

5. Versuch mit Maispflanzen. Alles wie vorher.

Emulsion nach 2 Minuten schwach bläulich.
„ „ 5 „ blau.
„ „ 10 „ tiefblau.

Ich verzichte darauf, weitere Versuche speciell anzuführen und begnüge mich mit dem Hinweis, dass ich mich seit $2^1/_2$ Jahren zu wiederholten Malen von der merkwürdigen Eigenschaft der Wurzel, dem Wasser die Fähigkeit zu ertheilen, Guajak zu bläuen, überzeugt habe. Ich prüfte in dieser Richtung ausser den schon genannten die Wurzeln von *Pisum sativum*, *Cucurbita Pepo*, *Brassica Rapa*, *Lepidium sativum*, *Helianthus annuus*, *Scorzonera hispanica*, *Hordeum vulgare*, *Hartwegia comosa*, *Philodendron pertusum* und *Neottia nidus avis* immer mit positivem Resultat, falls die Wassermenge, in welche die Wurzel secernirten, nicht zu gross war.

Man kann übrigens auch leicht zeigen, dass die Wurzel direct Guajakemulsion bläut, man braucht zu diesem Behufe nur Wurzeln, welche auf feuchtem Papier erzogen wurden und reichlich mit Wurzelhaaren versehen sind, in eine Guajakemulsion auf einen Augenblick zu tauchen. Unmittelbar nach dem Herausziehen färben sich dieselben namentlich in der Region der lebenden Wurzelhaare mehr oder minder blau. Leider gestattet dieser letztere Versuch den Einwand, dass der in der Guajakemulsion vorhandene Alkohol die Epidermiszellen der Wurzel getödtet und hiedurch den Austritt einer Substanz aus dem Innern der Zellen veranlasst haben könnte, welche die Bläuung des Guajaks hervorruft. Selbstverständlich kann ein solcher Einwand bei der ersten Art von Experimenten nicht gemacht werden, da die Wurzel während der ganzen Dauer des Versuches sich

unter normalen Verhältnissen befindet. Desgleichen ist hier an eine Mitwirkung von Bakterien[1] bei der Bläuung nicht zu denken; erstens weil nach der ganzen Art der Versuchsanstellung Bakterien selbst im günstigsten Falle nur ganz vereinzelt auftreten und zweitens, weil die Bläuung auch dann erfolgt, wenn durch genaue mikroskopische Untersuchung keine Spur von Bakterien nachzuweisen ist. Durch Kochen wird das Bläuungsvermögen des Wurzelsecrets zerstört, dessgleichen durch desoxydirende Mittel, wie schwefelige Säure, Schwefelwasserstoff, Gerbstoffe etc.

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen der Chemiker kann die Bläuung des Guajak nur im Sinne einer Oxydation gedeutet werden. Das Wurzelsecret wirkt demnach oxydirend. Welcher Substanz diese oxydirende Wirkung zukommt, lässt sich derzeit mit Sicherheit nicht bestimmen. Allein wenn wir uns der Thatsache erinnern, dass in den meisten Pflanzenorganen einschliesslich der Wurzel Stoffe allgemein vorkommen, welche gleichfalls Guajak bläuen[2] und auch darin mit dem Wurzelsecret übereinstimmen, dass sie ihr Bläuungsvermögen durch Siedehitze und desoxydirende Mittel einbüssen — dann ist es wohl mehr als wahrscheinlich, dass die im Innern der Wurzelepidermis vorkommenden guajakbläuenden Stoffe mit dem im Secrete vorhandenen verwandt oder gar identisch sind.

Mit Rücksicht darauf können wir die von Schönbein[3] und Reinke[4] bei ihren Untersuchungen über das Vermögen frischer Pflanzensäfte, an der Luft Guajak zu bläuen, gewonnenen Folgerungen auch auf das Wurzelsecret übertragen und dasselbe

---

[1] Bakteriöse Flüssigkeiten verhalten sich übrigens gegen Guajak verschieden. Bakterien, wie man sie erhält, wenn man Brot oder Samen von Leguminosen im Wasser faulen lässt, bläuen Guajak nicht, dagegen bläut Wasser, in welchem Stengel oder Blätter faulen, Guajak deutlich.

[2] Schönbein, Über das Vorkommen des thätigen Sauerstoffes in organischen Materien. Journ. f. prakt. Chemie, Leipzig 1868, S. 206 u. s. w. Vergl. ferner dessen Abhandlung: „Über einige chemische Eigenschaften der Pflanzensamen", ebenda, S. 214.

[3] L. c.

[4] Bot. Ztg. 1883, S. 64; ferner dessen Abhandlung: „Zur Kenntniss der Oxydationsvorgänge in der Pflanze". Berichte d. deutschen. bot. Ges. 1887. S. 216.

gleichfalls als einen autoxydablen[1] Körper betrachten, der bei seiner Oxydation zugleich Sauerstoff activirt und hiedurch andere Körper zu oxydiren vermag.[2]

Die von der Wurzel ausgeschiedene Substanz oxydirt, wie schon vorauszusehen war, nicht nur das Guajakharz, beziehungsweise die in demselben vorhandene Guajakonsäure, sondern auch andere leicht oxydable Stoffe: Pyrogallussäure, Gallussäure, Tannin und diese noch viel leichter als Guajak. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man die genannten Stoffe und Guajak dem Wurzelsecret gleichzeitig darbietet, denn dann erfolgt die Bläuung, d. h. die Oxydation des Harzes nicht, da der vom Wurzelsecret erregte Sauerstoff von den Gerbstoffen in Beschlag genommen wird.

Unter natürlichen Verhältnissen werden die im Boden allenthalben vorkommenden sauerstoffgierigen Humussubstanzen dem Angriffe des Wurzelsecretes ausgesetzt sein, denn sie verhalten sich demselben gegenüber ebenso wie die Gerbstoffe; dies beweisen folgende Thatsachen:

Während eine einzige, kaum eine Woche alte Wurzel einer Bohne einer ziemlich bedeutenden Wassermenge nach kurzer Zeit oxydirende Eigenschaften ertheilt, kann von der Wurzel dasselbe mit Rücksicht auf einen stark humösen Boden nicht ausgesagt werden. Entnimmt man Erdproben von sehr gut eingewurzelten Topfpflanzen, schwemmt diese Proben mit wenig Wasser auf und versetzt mit Guajak, so wartet man vergebens auf den Eintritt der Bläuung. Bei näherer Überlegung erscheint dies auch ganz natürlich. Gerade die für die Cultur von Topfpflanzen angewandte Erde ist zumeist ungemein reich an organischen Substanzen und da dieselben eben eine grössere Verwandtschaft

---

[1] Traube versteht unter autoxydablen Körpern solche, welche bereits durch passiven (molecularen) Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur oxydirt werden.

[2] Über die Art und Weise, wie diese Activirung des Sauerstoffes im Thier- und pflanzlichen Organismus vor sich geht, sind verschiedene Ansichten aufgestellt worden. (Vergl. Reinke l. c., ferner Pfeffer, Untersuchungen aus dem Tübinger bot. Institut, I. Bd., 677 u. s. w.) Darauf näher einzugehen, ist hier nicht der Platz. Für unsere Zwecke genügt die Thatsache, dass das Wurzelsecret oxydirend wirkt.

zum Sauerstoff bekunden als Guajak, so unterbleibt auch dessen Bläuung. Dass thatsächlich der Humus, d. h. die im Boden vorhandenen organischen Substanzen das Ausbleiben der Bläuung verhindern, geht aus folgendem von mir oft wiederholten Versuch hervor:

Drei Eprouvetten wurden mit je 5 CC. eines Wassers versehen, in welchem Bohnen cultivirt worden waren und welches Guajak intensiv bläute. Die erste Eprouvette versetzte ich mit einer, anscheinend nur aus organischer Substanz bestehenden Moorerde, die zweite mit humusreicher Gartenerde und die dritte mit feinem Flusssand; hierauf goss ich zu jeder Eprouvette etwas Guajaklösung und nach dem Schütteln rasch noch überdies etwas Olivenöl, um atmosphärischen Sauerstoff möglichst abzuhalten. Nach $^1/_2$—2 Stunden war Probe 1 unverändert, Probe 2 grünlich und Probe 3 tiefblau.

Für das Resultat dieses Versuches ist es vollständig gleichgiltig, ob man mit sterilisirter oder nichtsterilisirter Erde arbeitet, es konnten mithin Bakterien nicht im Spiele sein.

Zweifellos waren es also die in der Probe 1 und 2 reichlich vorhandenen humösen Bestandtheile, welche die Bläuung des Guajak, indem sie den vom Wurzelsecret gebotenen Sauerstoff zur eigenen Oxydation verbrauchten, verhinderten beziehungsweise hemmten, was in Probe 3 wegen Mangels an Humus nicht möglich war. Ich stellte mir noch überdies aus Moorerde durch Extraction mit kohlensaurem Natron und nachheriger Fällung mit verdünnter Salzsäure möglichst reine Humussubstanzen dar und überzeugte mich, dass ein kleiner Zusatz davon die Guajakbläuung gleichfalls verhinderte.

Die im Vorhergehenden mitgetheilten Versuche haben uns mit einer neuen Eigenschaft des Wurzelsecretes bekannt gemacht: mit dessen kräftigem Oxydationsvermögen. Während man bisher allgemein der Meinung war, dass die Wurzelausscheidungen nur reducirend wirken, stellt sich nunmehr heraus, dass das Wurzelsecret dem Protoplasma, respective den in demselben enthaltenen autoxydablen Körpern analog, durch molekularen atmosphärischen Sauerstoff oxydirt wird und hiebei gleichzeitig Sauerstoff activirt, wodurch zahlreiche, namentlich die im Boden

vorhandenen organischen Substanzen (Humus) vielfach verändert und rascher verbrannt werden.

Nach dem Gesagten darf es gar nicht überraschen, wenn es der Wurzel gelingt, selbst Elfenbein oder Knochenplatten zu corrodiren. Im Frühjahre legte ich 6 Ctm. lange und 2 Ctm. breite, glänzend polirte Elfenbeinplatten an die basale Innenseite von Blumentöpfen, in welchen verschiedene Pflanzen cultivirt wurden (*Canna indica, Pelargonium zonale, Plectrantus fruticosus*).

Nach 4 Monaten stülpte ich die Töpfe um und fand auf den Platten die Wurzeln mehr oder minder dicht anliegen. Nachdem ich die Elfenbeinplatten rein gewaschen und getrocknet, konnte ich deutlich, am schönsten bei einer Platte, die von den Wurzeln einer kräftigen *Canna indica* ganz bedeckt war, sehen, wie das Elfenbein ähnlich so wie die Marmorplatte bei dem bekannten Sachs'schen Versuch[1] angeätzt war. Der Verlauf der Wurzeln war streckenweise ganz genau in Form von rauhen, mitunter sogar deutlich vertieften und braun gefärbten Linien auf der Platte förmlich eingravirt. Offenbar sind an dieser Stelle die Kalksalze gelöst und auch gleichzeitig die organische Substanz — darauf deutet wenigstens die im Vergleich zur Umgebung dunklere Färbung der betreffenden Wurzellinien — angegriffen worden. Auch Knochenplatten, welche in Töpfen von *Pelargonium zonale* und *Xanthosoma atrovirens* durch 4 Monate lagen, waren etwas durch die Wurzeln corrodirt worden, aber viel weniger als Elfenbein.

II.

Über die Umwandlung von Rohrzucker in reducirenden Zucker durch das Wurzelsecret.

Taucht man die Wurzeln verschiedener Pflanzen in verdünnte Rohrzuckerlösung (0·1%), so lässt sich bereits nach wenigen Stunden reducirender Zucker nachweisen. Selbstverständlich muss bei diesen Versuchen, wenn sie beweisend sein sollen, jede Verletzung vermieden und die Mitwirkung von Fermentorganismen möglichst ausgeschlossen werden.

---

[1] L. c.

Welche Substanz diese Umwandlung des Zuckers durchführt, lässt sich mit Bestimmtheit nicht sagen. Die von der Wurzel ausgeschiedenen Säuren dürften es wohl nicht sein, da ihre Menge eine viel zu geringe ist, dagegen erscheint es auf Grund der heutigen Erfahrungen über analoge Processe (Inversion) in hohem Grade wahrscheinlich, dass die Überführung des Rohrzuckers in reducirenden Zucker durch ein Ferment veranlasst wird. — Dessgleichen bleibt es vorderhand noch fraglich, welche Zuckerart aus dem Rohrzucker entsteht, ob Traubenzucker, ob Maltose oder ein anderer Zucker und ferner, ob die Umwandlung mit der Bildung von reducirendem Zucker ihr Ende erreicht oder noch weiter fortläuft. Bei längerer Dauer (zwei oder mehrere Tage) verschwindet allerdings der reducirende Zucker, allein dies kann ebenso gut auf einer Aufnahme desselben seitens der Pflanze oder seitens der inzwischen erschienenen Bakterien oder aber auf einer weiteren chemischen Einwirkung der Wurzelausscheidung beruhen. Da es bei längerer Dauer derartiger Versuche unmöglich ist, sich von Bakterien unabhängig zu machen und da die bei der Umsetzung des Rohrzuckers entstehenden Körper nur in sehr kleiner Menge auftreten, so ist der weiteren Untersuchung vorläufig, so lange wir für die gewöhnlichen Umwandlungsproducte der Zuckerarten feine und empfindliche Reactionen nicht besitzen, eine Grenze gesetzt und die Frage nach der weiteren Umwandlung des reducirenden Zuckers durch das Wurzelsecret als eine offene zu betrachten. — Der Vorgang der Zuckerumwandlung darf nicht etwa so gedacht werden, dass der Rohrzucker erst in das Innere der Wurzelzellen eintritt, hier in reducirenden Zucker umgesetzt und erst als solcher ausgeschieden wird. Es tritt nämlich, wie durch Untersuchungen von de Vries [1] und Pfeffer [2] nachgewiesen wurde und wie ich mich selbst sehr oft überzeugte, aus einer Wurzel überhaupt keine Spur von Zucker heraus. Demnach kann die angedeutete Veränderung des Rohrzuckers nur ausserhalb der

---

[1] Sur la perméabilité d. protopl. des betteraves rouges. Arch. Néerland. 1871, Bd. VI.

[2] Landwirthsch. Jahrb. 1876. Bd. V, S. 125. Vergl. auch Detmer, Journ. f. Landwirthsch. 1879, S. 382.

Wurzel und zwar durch einen nach aussen ausgeschiedenen Körper vermittelt werden.

Zur näheren Begründung und Veranschaulichung der behaupteten Einwirkung von Wurzeln auf Rohrzucker seien folgende Versuche mitgetheilt:[1]

1. Versuch. In ein mit 30 CC. frisch bereiteter und sterilisirter Rohrzuckerlösung (0·1%) versehenes kleines Becherglas wurden die Wurzeln von sieben, etwa 10 Tage alten Maiskeimlingen getaucht. Nachdem noch eine kleine Probe Flüssigkeit zur Controle aus dem Becherglase entnommen wurde, kam alles ins Finstere. Temperatur 25° C.

Von Zeit zu Zeit wurde auf reducirenden Zucker geprüft doch die Flüssigkeit vordem noch filtrirt. Ich that dies desshalb, weil nach einiger Zeit doch eine erklekliche Anzahl von Wurzelhaubenzellen abgestossen werden. Diese konnten Zucker enthalten, denselben beim Kochen austreten lassen und auf diese Weise das Resultat stören. Daher wurden etwaige Wurzelhaubenzellen durch Filtriren immer zuerst entfernt.

Nach 1 Stunde noch keine Veränderung.

Nach 6 Stunden gab die Zuckerlösung prompt die Trommer'sche Probe, während die Controlprobe noch unverändert war.

2. Versuch. Alles wie bei 1. Temperatur 26° C. Nach 3 Stunden bereits Trommer's Probe deutlich, während die Controlprobe erst nach 10 Stunden die erste Spur einer Reaction von reducirendem Zucker gab.

3. Versuch. Mit drei Erbsenpflanzen, sonst alles wie bei 1.

Nach $2^3/_4$ Stunden Trommer's Probe deutlich, bei Controlprobe gar nicht.

Nach 8 Stunden Trommer's Probe sehr deutlich, bei Controlprobe gar nicht.

Nach 24 Stunden Trommer's Probe sehr deutlich, bei Controlprobe gar nicht.

4. Versuch. Drei Bohnenpflanzen, sonst alles wie bei 1. Temperatur 17° C.

Nach 2 Stunden schwache Trommer'sche Probe.

---

[1] Bezüglich der Cultur der zum Versuche dienenden Keimlinge. Vergl. das auf S. 87 Gesagte.

Nach 4 Stunden sehr deutliche Trommer'sche Probe, während die Controllösung keine Spur von reducirendem Zucker enthielt.

5. Versuch. Mit einer Bohnenpflanze. Resultat wie bei 4; doch war reducirender Zucker erst nach 6 Stunden nachweisbar, in der Controllösung aber selbst nach 24 Stunden nicht.

Analoge Versuche mit grünen und etiolirten Mais- und Bohnenblättern gaben, so lange sie gesund und an denselben keine Zersetzungserscheinungen wahrzunehmen waren, negative Resultate.

III.

Das Wurzelsecret vieler Pflanzen wirkt schwach diastatisch.

Das eigenthümliche Verhalten der Wurzelausscheidungen gegen Guajak, ferner gegen Rohrzucker und die leichte Zerstörbarkeit ihres Bläuungsvermögens gegenüber Guajak in der Siedehitze erinnerten mich lebhaft an die Eigenschaften gewisser Fermente. Es war daher naheliegend zu prüfen, ob dem Wurzelsecret nicht auch vielleicht fermentative Wirkungen zukommen. Da in der Wurzel Diastase etwas ganz Gewöhnliches ist, so prüfte ich zuerst das Verhalten des Excrets gegenüber Stärkekleister. Alle in dieser Richtung unternommenen Versuche boten dem Experimentator eine unangenehme, nicht leicht zu überwindende Schwierigkeit dar. Bekanntlich wirken auch Bakterien diastatisch und da bei Versuchen mit Wurzeln — eine Sterilisirung dieser ohne Schädigung ist ja nicht möglich — Bakterien nicht ausgeschlossen werden können, so ist auf eine eventuelle Mitwirkung derselben stets mit der grössten Sorgfalt zu achten.

Um mich von Bakterien möglichst unabhängig zu machen, führte ich zweierlei Versuche aus.

Versuche der ersten Art: die etwa 2—3 Ctm. langen, auf feuchtem Papier gezogenen und mit Haaren reichlich versehenen Wurzeln verschiedener Keimlinge *(Zea Mais, Hordeum vulgare, Phaseolus multiflorus, Pisum sativum, Helianthus annuus)* wurden einen Augenblick bis zu ihrem Wurzelhals in $^1/_2$—1% Kartoffelstärkekleister getaucht und sodann im dunstgesättigsten, finsteren

Raum bei einer Temperatur von 20—25° C. weiter cultivirt. Derartige Wurzeln waren mit einem förmlichen Kleisterhöschen versehen und färbten sich mit Jod sofort tiefblau. 24 Stunden nachher — die Wurzeln waren inzwischen weiter gewachsen und hatten neue Wurzelhaare gebildet — färbten sie sich jedoch bei Behandlung mit Jodtinctur nicht mehr blau, sondern mehr minder rothviolet,[1] ein Beweis, dass mit der Stärke eine Veränderung vor sich gegangen war. Die Färbung war die des Jod-Erythrodextrins. Am ausgesprochensten war die Rothfärbung in der eben ausgewachsenen Region der Wurzel zu sehen, weniger gegen den Wurzelhals hinauf. Die wachsende Region erscheint schwach, mitunter gar nicht gefärbt, was offenbar mehrfache Gründe hat. Erstens bleibt hier in Folge Mangels an längeren Wurzelhaaren überhaupt schon weniger Kleister haften, zweitens wird derselbe durch das Längenwachsthum der Wurzel auf eine immer grössere Fläche vertheilt und endlich scheint die chemische Einwirkung des Secrets, wie man oft an der Rothbraunfärbung der noch vorhandenen ehemaligen Kleisterreste sehen kann, gerade hier eine relativ intensive zu sein. Nach 2—3 Tagen erhält man nach Behandlung mit Jodtinctur ein ähnliches Bild, nur geht das Roth nicht selten in ein deutliches Rothbraun über, was auf eine noch weitere Umwandlung des Erythrodextrins hindeutet.

Die vorhergehenden Versuche beweisen jedenfalls, dass mit dem Stärkekleister in Berührung mit der Wurzel eine chemische Veränderung vor sich geht, und dass diese Umwandlung mindestens zur Bildung von Erythrodextrin führt. Ob in weiterer Folge auch Zucker gebildet wird, mit anderen Worten, ob eine Verzuckerung der Stärke in derselben Weise wie bei Einwirkung von Diastase eintritt, lässt sich aus obigen Versuchen nicht erschliessen.

Versuche der 2. Art: 2—3 Wochen alte Keimlinge verschiedener Art — über die Cultur derselben vgl. S. 4 — wurden in sehr verdünnten, ganz frisch bereiteten Kleister eingestellt. Die eventuelle Mitwirkung sich während des Versuchs einstellender Bakterien suchte ich durch einen kleinen Zusatz von

---

[1] Mit Jodwasser färben sich die Wurzeln selbst auf Zusatz stark verdünnter Salzsäure oft gar nicht mehr.

Weinsäure zum Kleister zu verhindern. Vor nicht langer Zeit hat nämlich Wortmann[1] dargethan, dass Bakterien Stärke nicht verzuckern, wofern ihnen gleichzeitig als Kohlenstoffverbindung Weinsäure geboten wird. So lange die letzten Spuren von Weinsäure nicht verarbeitet sind, wirken Bakterien nach Wortmann nicht diastatisch. Anfangs verwendete ich als Zusatz weinsaures Ammoniak, später jedoch immer nur freie Weinsäure, da mir die letztere nach mehrfachen Versuchen für meine Zwecke bessere Dienste leistete. Die besten Erfolge erhielt ich mit Keimlingen von Mais, weniger gute mit denen von *Phaseolus multiflorus*, *Pisum sativum* und *Cucurbita Pepo*.

1. Versuch. Zehn Stück 2 Wochen alte Keimlinge von Mais wurden mit ihren unverletzten Wurzeln in ein kleines Becherglas gestellt, welches enthielt:

20 CC. destillirtes Wasser,

3 CC. 1% Kartoffelstärkekleister,

3 Tropfen concentrirte Weinsäure.

Von dieser Flüssigkeit wurde eine kleine Probe in eine Eprouvette gegossen und zur Controle daneben aufgestellt. Der Versuch verlief, wie alle folgenden, im Finstern[2] und bei einer Temperatur von 23—27° C. Es ist gut, die Flüssigkeit von Zeit zu Zeit etwas aufzuschütteln, damit möglichst viel Kleistertheilchen sich den Wurzeln anhängen. In den folgenden Tabellen ist der Kleister, in welchen die Wurzeln eingesenkt sind, mit *Kw*, der Controlkleister mit *Kc* bezeichnet.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
24	blau	blau	nein
30	braun	blau	ja

[1] Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. VI, Heft 4 u. 5.

[2] Im Lichte erfolgt die Verzuckerung der Stärke langsamer.

2. Versuch mit zwölf Maiskeimlingen.

Kw = 25 CC. destillirtes Wasser,
2 CC. Kleister,
3 Tropfen concentrirte Weinsäure.

Sonst alles wie vorher.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
$5^1/_2$	blau	blau	nein
20	braun	blau	ja

3. Versuch. Alles wie vorher bei Versuch 1, jedoch in *Kw* nur 1 CC. Kleister.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
4	blau	blau	nein
20	rothviolett	blau	„
40	braun	blau	Spur.

4. Versuch mit acht Erbsenkeimlingen (14 Tage alt).

Kw = 30 CC. Brunnenwasser,
3 CC. Kleister,
3 Tropfen concentrirte Weinsäure.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
24	blau	blau	nein
48	rothviolett	blau	„
60	braun	blau	ja

5. Versuch mit zehn Stück 3 Wochen alten Keimlingen von *Cucurbita Pepo*. Temperatur 30° C. Versuchsbedingungen im Übrigen wie bei Versuch 1.

Kw = 30 CC. Brunnenwasser,
1 CC. Kleister,
Spur weinsaures Ammoniak.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
3	blau	blau	nein
7	rothviolett	blau	„
9	braun	blau	„

6. Versuch mit vier Stück 3 Wochen alten Bohnenkeimlingen Temperatur 24—26° C. Sonst alles wie vorher.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Kc* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirender Zucker nachweisbar bei *Kw*
24	rothviolett	blau	ja
40	braun	blau	nein

Versuche mit bewurzelten Stecklingen von *Hedera Helix* und *Eupatorium adenophorum* Sprengl führten zu negativen Resultaten. Dagegen verhielten sich unmittelbar vor der Anthese ausgehobene Exemplare von *Neottia nidus avis* ganz so wie Keimlinge von Mais. Das Resultat wich hier nur insoferne ab, als in den Versuchen mit *Neottia* nach dem Verschwinden des Kleisters kein Zucker nachzuweisen war, ein Umstand, der übrigens auch manchmal bei Keimlingen zu beobachten ist. Thatsächlich dürfte aber auch Zucker gebildet werden, nur wird derselbe offenbar gleich nach seiner Bildung von den inzwischen erschienenen Bakterien assimilirt, höchstwahrscheinlich aber auch von den Wurzeln aufgenommen.

7. Versuch mit einer *Neottia*. Die Wurzel wurde sauber abgespült und sodann in ein kleines Becherglas gestellt, welches enthielt:

30 CC. Brunnenwasser,
1 CC. Kleister,
3 Tropfen concentrirte Weinsäure.
Sonstige Versuchsbedingungen wie vorher.

Versuchsdauer in Stunden	Färbung von *Kw* nach Behandlung mit Jodtinctur	Färbung von *Ke* nach Behandlung mit Jodtinctur	Reducirter Zucker nachweisbar bei *Kw*
$3^1/_2$	blau	blau	nein
$5^1/_2$	rothviolett	blau	„
$7^1/_2$	braun	blau	„

Wenn wir die Resultate der vorstehenden Versuche überblicken, so gelangen wir zu dem Schlusse, dass das Wurzelsecret von Keimlingen und ebenso von *Neottia* schwach[1] diastatisch wirkt, also Stärkekleister in reducirenden Zucker überführt.[2]

---

[1] Dies war der gewöhnliche Fall; ich will jedoch nicht verschweigen, dass sich in meinen Aufzeichnungen Versuche vorfinden, in denen die diastatische Wirkung eine intensivere war. Welcher Umstand diese veranlasste, wurde mir nicht klar, da in allen Versuchen die Versuchsbedingungen im Wesentlichen anscheinend die gleichen waren. Sollten vielleicht die Keimlinge aus einem ungleichartigen Saatgut hervorgegangen sein und in Folge dessen ein ungleiches physiologisches Verhalten gezeigt haben?

[2] Wie ich in letzter Zeit fand, wirken beblätterte Stämmchen von Moosen, die an sehr feuchten, zeitweise überrieselten Orten leben, ebenso submerse Wasserpflanzen *(Elodea, Chara, Ceratophyllum)*, ferner Flechten *(Sticta pulmonaria)*, in grösserer Menge vorhanden, deutlich diastatisch. Ein kalktuffbildendes, zum Theile untergetaucht lebendes Moos *(Hypnum rusciforme)*, ferner eine *Mnium*-Art und endlich die genannte *Sticta* besassen diese Fähigkeit in hohem Grade und vermochten mit viel grösserer Energie Kleister und Zucker überzuführen als ich dies je bei Wurzeln beobachtet habe. Ich gedenke diesen Gegenstand, sobald ich Gelegenheit hiezu finde, genauer zu verfolgen und werde seinerzeit ausführlich darüber berichten.

Für die *Neottia*, die wir als einen typischen Humusbewohner kennen, werden wir nicht anstehen, zu behaupten, dass sie höchst wahrscheinlich aus dieser Eigenschaft ihres Wurzelsecretes Nutzen zieht. Gewöhnlich in verwesendem Buchenlaub mit ihren Wurzeln eingebettet, kann dieselbe vermöge ihres Secretes unter anderm auf die in den faulenden Pflanzenresten noch vorhandenen Stärkekörnchen lösend wirken und den daraus entstehenden Zucker nach der Aufnahme verarbeiten. So würde die von Wiesner [1] schon vor Jahren gemachte Annahme, „dass Stärkekörnchen und andere noch nicht zu Huminkörpern zerfallene Reservestoffe in der Laubdecke vorkommen, die in ähnlicher Weise Materiale zur Erzeugung von Stärke etc. für die sogenannten Humusbewohner abgeben, wie etwa die Stärke des Endosperms für den Keim“ durch die obigen Versuche eine neue Stütze erhalten.

Durch die in diesem und in den vorigen Capiteln mitgetheilten Versuche ist wohl in mehrfacher Beziehung der Beweis erbracht worden, dass das Wurzelsecret organische Substanzen chemisch verändert. In gewissem Sinne verhält sich die Wurzel ähnlich wie ein Pilz: sowie dieser durch Excrete organische Körper der verschiedensten Art löst, chemisch verändert und zersetzt, so ähnlich wirkt auch die Wurzel auf den Humus des Bodens, die Verwesung desselben hiedurch beschleunigend.

Es ist eine in gärtnerischen Kreisen allgemein verbreitete Ansicht, dass die organische Substanz des Bodens, z. B. vegetabilischer Dünger, Hornspähne etc. viel rascher in gut durchwurzelten Blumentöpfen verändert wird und verschwindet als in solchen ohne Wurzeln. Die Erfahrungen der Praktiker stimmen demnach vortrefflich mit unseren Versuchen, denn aus diesen lässt sich die Anschauung der Gärtner, dass die Wurzel einen rascheren Zerfall der gesammten organischen Substanz des Bodens (Humus) bedingt, ableiten. Ob hiebei — abgesehen davon, dass auch die für die Pflanze werthvollen anorganischen Verbindungen aus den verwesenden organischen Resten rascher aufgeschlossen werden —

---

[1] Über die Menge des Chlorophylls in den oberirdischen Organen der *Neottia nidus avis*. Flora, 1874, S. 73.

nicht auch gewisse organische, für die Pflanze assimilirbare Körper durch das Wurzelsecret geschaffen werden, bleibt vorläufig ein ungelöstes Problem. Mir erscheint es jedenfalls nach meinen Untersuchungen und nach bereits bekannten Thatsachen nicht unwahrscheinlich, dass an der alten ganz und gar verworfenen Humustheorie vielleicht doch ein Körnchen Wahrheit haftet. Der herrschenden Lehre gemäss lebt die grüne chlorophyllhältige Pflanze allerdings nur von rein unorganischer Substanz und die Hauptstütze dieser Lehre sind die Wasserculturversuche. Allein die zweifellos höchst interessanten Versuche mit künstlichen Nährlösungen beweisen meiner Ansicht doch nur, dass viele Pflanzen blos mit rein anorganischen Nahrungsmitteln ihre volle Entwicklung durchmachen können. Dass sie unter normalen Verhältnissen, d. h. wenn die Pflanze im Boden steht, neben anorganischem nicht auch organisches Material aufnehmen und verwerthen können, folgt aber aus den Wassercultur versuchen nicht. Man wird darauf einwenden: Pflanzen, welche in Huminlösungen gezogen werden, beginnen alsbald zu kränkeln und gehen sodann zu Grunde, deshalb kann von einer Verwerthung derselben keine Rede sein. Wenn wir dies auch zugeben, so darf doch nicht übersehen werden, dass sich im Boden noch zahlreiche andere organische Substanzen vorfinden, welche entweder als solche oder vielleicht erst durch das Wurzelsecret in eine mundgerechte Form gebracht, zur Bildung von Pflanzensubstanz dienen mögen. Eine derartige Anschauung erscheint nicht so unberechtigt, wenn wir uns der Versuche zahlreicher Forscher[1] erinnern, über die Assimilation organischer Stickstoffverbindungen (Harnstoff, Glycocoll, Asparagin, Leucin, Kreatin etc.) durch grüne Phanerogamen, ferner der interessanten Versuche Böhm's[2] über die Bildung von Stärke in Pflanzenorganen aus dargebotenem Zucker und endlich der Culturversuche desselben Forschers mit bewurzelten Bohnen in Zuckerlösungen, wobei eine Aufnahme und Verarbeitung von Zucker constatirt werden konnte.

Schliesslich sei hingewiesen auf jene Pflanzen, welche wenigstens in gewissen Perioden ihrer Entwicklung — ich denke

[1] Vergl. darüber Pfeffer's Pflanzenphysiologie, I. Bd. S. 242.

[2] Bot. Zeitg. 1883, S. 33 u. s. w.

dabei an das chlorophyllfreie, im finsteren Boden bedeutend heranwachsende Rhizom der grünen *Goodyera repens*, ferner an die in der Erde bei Abschluss von Licht erstarkenden Prothallien von Lycopodium und Ophioglosseen — ohne Zweifel organisches Nährmaterial aufnehmen müssen. Und warum sollte das, was in einer bestimmten Entwicklungsphase dieser Pflanzen stattfindet, nicht auch sonst bei ihnen möglich sein? — Neue Stützen für die vorgetragene Ansicht vorzubringen, wäre nicht schwer, allein ich will davon abstehen, da ich wohl weiss, dass sich derlei hochwichtige physiologische Fragen nur durch zahlreiche exacte Versuche beweisen lassen. Später, wenn es der künftigen Forschung gelingen sollte, noch weitere Thatsachen zur Physiologie des Wurzelsecretes zu liefern — offenbar stehen wir diesbezüglich erst am Anfang — dann wird man sich auch bestimmter darüber äussern können, welche Bedeutung die von mir aufgefundenen Eigenschaften des Wurzelsecretes für die Ernährung der Pflanze besitzen.

IV.

Verschiedenartige Bemerkungen und Beobachtungen über Wurzelausscheidungen.

Bei meinen Untersuchungen konnte ich ziemlich oft die Beobachtung machen, dass die Ausscheidungen der Wurzeln, ähnlich so wie es bei oberirdischen Organen, namentlich an den Blattzähnen, der Fall ist, in Form von Tröpfchen gewöhnlich an der Spitze der Wurzelhaare hervortreten.

Sehr schön kann man diese Erscheinung an jungen Wurzeln von Maiskeimlingen sehen, welche im dunstgesättigten Raume bei möglichst constanter Temperatur gezogen werden und für deren Turgescenz durch Umhüllen des Endosperms mit nasser Baumwolle gut gesorgt wird. Die an den Wurzelhaaren erscheinenden, ausserordentlich kleinen, aber namentlich für ein kurzsichtiges Auge noch deutlich sichtbaren Tröpfchen sind nicht etwa Thautröpfchen, sondern entschieden von der Pflanze ausgeschieden. Wären es Thautröpfchen, so wäre nicht begreiflich, warum dieselben in der Regel am Ende der Haare sitzen, ferner warum sie nur an lebenden gesunden und nicht an den bereits collabirenden Haaren zu sehen sind. Übrigens treten solche

Flüssigkeitströpfchen auch dann auf, wenn die Wurzeln in einem Raum gehalten werden, dessen Temperatur absichtlich allmälig gesteigert wird, so dass es zu keiner Condensation des Wasserdampfes und mithin auch zu keiner Thaubildung kommen kann.

Das Auftreten von Tröpfchen an den Wurzelhaaren ist eine in mehrfacher Beziehung lehrreiche Thatsache: sie beweist in einfacher und anschaulicher Weise das, worüber man so lange gestritten, nämlich die Existenz von Wurzelausscheidungen und ferner beweist sie, dass das Secret die Membran der Wurzelepidermiszelle nicht nur, wie man dieses angenommen, durchtränkt,[1] sondern sogar über die Zellwand in Tröpfchenform hinaustritt[2]. Dies dürfte wohl gewöhnlich dann eintreten, wenn durch Hemmung der Transpiration und reichliche Wasserzufuhr der Turgor der Wurzel seinen Höhepunkt erreicht.

Ausscheidungen von Säuren. Die Abgabe von CO_2 durch die Wurzel wurde meines Wissens zuerst von Wiegmann und Polstorff[3] bewiesen. Sie cultivirten Pflanzen mit ihren unverletzten, wohl gewaschenen Wurzeln in blauer Lackmuslösung und fanden dieselbe nach kurzer Zeit roth werden. Durch Kochen konnte die CO_2 in Form von Bläschen ausgetrieben und so die ursprüngliche Farbe der Flüssigkeit wieder hergestellt werden.

Eine andere höchst einfache und vortreffliche Methode, die saure Natur des Wurzelsecrets darzuthun, besteht in der Cultur von ganz jungen Keimlingen auf feuchtem blauen Lackmuspapier.[4] Säet man auf solches Papier Samen verschiedener Art, so bemerkt man oft schon während der Quellung[5], z. B. bei Raps, Lein, rothe Flecke rund um die Samen, dann treten die Würzelchen hervor und bezeichnen, dem Papiere sich dicht anschmiegend,

---

[1] Vergl. Sachs, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, S. 314.

[2] Das Hervortreten von Substanzen aus der Wurzel heraus in das umgebende Medium geht auf's Bestimmteste auch daraus hervor, dass der autoxydable, Guajakharz bläuende Körper des Wurzelsecrets mit Leichtigkeit im Wasser nachgewiesen werden kann, in welchem Wurzeln wachsen. Vergl. die Versuche auf S. 4—5.

[3] Über die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen etc., Braunschweig 1842, S. 33. Vergl. auch Liebig, Agriculturchemie, 1876, S. 87.

[4] Becquerel, Archiv de Botanique, 1833, Bd. I, p. 400.

[5] Oudemans und Rauwenhoff, Linnaea, Bd. XXX, 1859/60, S. 220.

ihren Verlauf durch deutlich rothe Linien.[1] Man sieht allgemein diese Röthung für einen Beweis der Ausscheidung freier Säuren an, allein streng genommen könnte die Röthung ebenso gut von sauren Salzen herrühren. In Anbetracht des Umstandes, dass die sauren Substanzen nur in sehr kleinen Mengen austreten und der Untersuchung nicht zugänglich sind, lässt sich darüber[2] nichts Bestimmtes sagen, ebensowenig darüber, welcher Art diese sauren Substanzen sind. Man hat zwar Essigsäure als einen Bestandtheil des Wurzelsecrets angesprochen (Becquerel l. c.), allein diese Behauptung entbehrt vorläufig jeder thatsächlichen Begründung. Wir wissen derzeit nicht einmal, ob organische oder unorganische Säuren oder vielleicht beide gemengt im Wurzelsecret vorkommen, nur das Eine kann mit Bestimmtheit behauptet werden, dass die Röthung von Lackmuspapier und die Corrosion von Gesteinsplatten nicht von CO_2, sondern von anderen, höchstwahrscheinlich nicht flüchtigen Säuren herrühren. Die Röthung des Papieres ist nämlich für CO_2 viel zu intensiv und bleibt selbst bei Erwärmung fast unverändert erhalten. Schliesslich sei noch einer dritten Methode zum Nachweis der sauren Reaction der Wurzelausscheidungen gedacht, deren Kenntniss ich Herrn Prof. Wiesner verdanke. Derselbe benützt alljährlich in seinen Vorlesungen zu dem genannten Zwecke Phenolphtaleïn, welches bekanntlich bei Gegenwart schon einer sehr geringen Menge Alkalis eine prachtvoll rothviolette Farbe annimmt, bei Neutralisirung des Alkalis dieselbe aber wieder verliert. Eine wässerige Phenolphtaleïnlösung mit einer Spur Kalilauge ausgefärbt, verliert in Berührung mit unverletzten Wurzeln nach einigen Stunden vollständig ihre Färbung. Die Wurzel scheidet eben Säuren aus, neutralisirt hiedurch das Kali

[1] Der Versuch gelingt besonders schön, wenn man das Papier nur sehr wenig feucht hält.

[2] Die Chemiker verwenden zum Nachweis freier Säuren Ultramarinpapier; dies mag bei Gegenwart etwas erheblicher Säuremengen recht gut gehen, für unsere Zwecke erwies sich das Papier jedoch als zu wenig empfindlich, wenigstens fand durch Wurzeln keine Entfärbung statt und eine solche würde auch gewiss nicht eingetreten sein, wenn die Wurzeln thatsächlich freie Säuren in geringen Mengen ausscheiden würden, da absichtlich hinzugefügte verdünnte freie Essigsäure oder verdünnte Salzsäure die blaue Farbe nicht merklich veränderte.

und bewirkt auf diese Weise die Entfärbung. Diese Methode ist ungemein anschaulich, verlässlich und empfiehlt sich mithin besonders für Vorlesungsversuche.

Gummi (Gummiferment) im Wurzelsecret. Jedem, der sich nur einigermassen mit Wurzeln beschäftigt hat, wird gewiss die schleimigklebrige Beschaffenheit ihrer Epidermis, namentlich der Wurzelspitze, aufgefallen sein. Die Region der Wurzelhaube ist nicht selten von einem Schleimtropfen eingehüllt. Dass dieser schlüpfrige Überzug ein leichtes Durchgleiten durch das Substrat und eine innige Verbindung der Wurzelhaare mit den Bodentheilchen ermöglicht, ist wohl nicht zu bezweifeln und mit Rücksicht auf den letzteren Umstand auch schon von Fr. Schwarz[1] betont worden.

Schon die älteren Physiologen (Duhamel, Meyen) sprechen von diesem klebrigen Überzug und halten ihn offenbar seiner physikalischen Eigenschaften wegen für Gummi; der Beweis für die Gumminatur dieses Überzuges ist jedoch bis heute von Niemandem erbracht worden und konnte eigentlich gar nicht erbracht werden, da wir bisher keine verlässlichen Mittel hiezu besassen. Erst Wiesner[2] hat uns vor circa zwei Jahren in seiner Arbeit „Über das Gummiferment" mit einem empfindlichen Reagens auf Gummi respective Gummiferment bekannt gemacht. Ich prüfte Wurzeln verschiedener Art genau nach Wiesner's Methode (l. c. S. 20) mit Orcin und Salzsäure und zwar in folgender Weise:

Abgezogene Oberhäute verschiedener Wurzeln sowie deren Querschnitte wurden auf dem Objectträger mit einem Tröpfchen wässeriger Orcinlösung und sodann mit Salzsäure im Überschusse versetzt, mit dem Deckglas bedeckt, das Ganze dann auf ein Drahtnetz gelegt und nun zuerst gelinde, dann endlich bis zum Sieden erhitzt. Epidermiszellen einschliesslich der Wurzelhaare färben sich sammt unmittelbarer Umgebung anfangs rosenrothviolett und dann mehr oder minder blau. Die Färbung tritt sowohl im Inhalt als in der Wand auf, so dass sich die ganze Epidermis

[1] Die Wurzelhaare der Pflanzen, i. d. Untersuch. a. d. bot. Institut z. Tübingen. I. Bd., S. 142.

[2] Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. z. Wien 1885, XCII. Bd., I. Abth. S. 11.

oft wie ein blauer Ring abhebt. (*Mais, Phaseolus multiflorus. Helianthus annuus, Hedychium Gardnerianum, Perilla nankinensis*). Hier wird also offenbar Gummi gebildet. Die verholzten Elemente des Gefässbündelcylinders färben sich gleichfalls blauviolett, allein schon in der Kälte, was bei der Gummireaction nicht der Fall ist. Diese Färbung rührt von Lignin her.

Ob das auf der Wurzelepidermis vieler Pflanzen vorhandene Gummi im Innern der Zellen oder aus der Membran entsteht, lässt sich mit Sicherheit nicht entscheiden. Wäre — und dies erscheint mir sehr wahrscheinlich — das letztere der Fall, dann hätten wir es hier streng genommen nicht mit einer Excretion, sondern einfach mit einer durch das Wiesner'sche Gummiferment hervorgerufenen theilweisen Verschleimung der Membranen zu thun. Der Gummibeleg auf den Wurzeln ist zweifellos sehr häufig, vielleicht allgemein verbreitet, allein der Nachweis desselben ist manchmal nicht zu erbringen: nicht selten wird durch andere nebenher verlaufende Reactionen die für Gummi charakteristische Färbung verdeckt, bei vielen Luftwurzeln färben sich Epidermis und Haare, weil verholzt,[1] schon bei gewöhnlicher Temperatur blauviolett und endlich scheint das Gummi bei ein und derselben Pflanzenart je nach den Culturbedingungen bald zu fehlen, bald vorhanden zu sein. Darauf deutet wenigstens der Umstand hin, dass Wurzeln, welche im Wasser oder auf sehr feuchtem Papier gezogen werden, die Reaction viel leichter und schöner geben, als solche, die auf verhältnissmässig trockenem Substrat (Papier) wachsen.

Ausscheidungen besonderer Art. Im Vorhergehenden wurde bereits des klebrigen Überzuges vieler Wurzeln gedacht, mittelst dessen offenbar eine innige Verschmelzung der Wurzelhaare mit den Bodenpartikelchen erzielt wird. Ganz besonders interessant erscheinen in dieser Beziehung die Luftwurzeln

---

[1] Meines Wissens wurde eine Verholzung von Wurzelhaaren bisher nicht constatirt. Eine solche ist jedoch nach meinen Beobachtungen zweifellos vorhanden bei Luftwurzeln von *Sarcanthus rostratus, Hartwegia comosa, Maxillaria* sp., *Anthurium crassinervum* und *Selaginella serpens*. Die Wände der Haare und Epidermiszellen färben sich mit den bekannten Wiesner'schen Holzstoffreagentien sehr deutlich, und zwar mit Anilinsulfat gelb und mit Phloroglucin + HCl roth.

von dem in unseren warmen Gewächshäusern an Wänden allgemein gezogenen Wurzelkletterer *Ficus repens*. Die Wurzelspitzen dieser Pflanze scheiden nach den Beobachtungen Darwin's[1] eine klebrige kautschukartige Substanz aus, welche beim Eintrocknen die Anheftung der Wurzel an die Unterlage besorgt.

Ich hatte im heurigen Frühjahre Gelegenheit, zu sehen, dass an der verbreiterten Spitze des auswachsenden *Viscum*-Hypocotyls gleichfalls eine sehr klebrige, in Fäden ausziehbare Substanz ausgeschieden wird, welche eine derartig feste Anheftung des Hypocotyls an das Substrat vermittelt, dass eine Ablösung des jungen Stengelchens ohne Verletzung nur in den seltensten Fällen gelingt. Das Secret des *Viscum*-Hypocotyls reagirt stark sauer und enthält wahrscheinlich jenes celluloselösende Ferment, das der Keimpflanze durch Auflösung der Zellhäute den Eintritt in die Rinde des Wirthes ermöglicht.

Schliesslich sei noch an eine merkwürdige, in jüngster Zeit von L. Koch[2] gefundene Thatsache erinnert, welche mit Rücksicht auf unseren Gegenstand von Wichtigkeit ist. Der genannte Autor fand, dass die Keimung der *Orobanche*-Samen im Gegensatze zu allen anderen Pflanzen nur auf einem bestimmten Substrat, nämlich nur auf den Nährwurzeln dieser Parasiten eintritt. Die auf den Samen stossende Nährwurzel übt nach Koch durch Ausscheidung saurer Lösungen einen chemischen, die Keimung anregenden Reiz aus. Dieses Secret muss offenbar eine für die betreffende Nährwurzel specifische Zusammensetzung haben, da nur die Wurzel der Nährpflanze den Samen zur Keimung veranlasst. „Bringt man", sagt Koch, „ein Gemisch von Samen, beispielsweise von *O. Hederae* und *minor* in Töpfe, in denen Epheu und Klee wächst, so erscheinen, wie die Untersuchung der Wurzeln lehrt, auf den betreffenden Nährplanzen nur die ihnen zugehörigen Orobanchenspecies."

Wir haben hier jedenfalls ein schönes Beispiel von der Einwirkung eines Wurzelsecrets auf einen lebenden Körper vor uns: im Contact mit dem Wurzelsecret der Nährpflanze hört das

---

[1] Die Bewegungen und Lebensweise der kletternden Pflanzen. Deutsche Übersetzung, Stuttgart 1876, S. 142.

[2] Die Entwicklungsgeschichte der Orobanchen etc. Heidelberg 1887, S. 1—6.

latente Leben des Pflanzenkeims auf und sein actives Leben, mit den verwickelten Stoffwandlungen im Gefolge, hebt an.

Die wichtigsten Ergebnisse der vorhergehenden Untersuchungen lassen sich in folgenden Sätzen kurz zusammenfassen:

1. Das Wurzelsecret wirkt reducirend und oxydirend.
2. Das Wurzelsecret bläut Guajak. Diejenige Substanz oder die Substanzen, welchen das Bläuungsvermögen zukommt, verhalten sich in vielen Punkten genau so wie die autoxydablen Körper der Pflanzenzelle und sind vielleicht mit diesen identisch. Auch das Wurzelsecret kann als ein Autoxydator betrachtet werden, der durch passiven molecularen Sauerstoff oxydirt wird, hiebei Sauerstoff activirt und damit die Verbrennung leicht oxydabler Körper veranlasst.
3. Das Wurzelsecret oxydirt verschiedene organische Substanzen, z. B. Guajakonsäure, Pyrogallussäure, Gallussäure und — was von besonderer Wichtigkeit ist — auch Humussubstanzen. Mithin muss durch die Wurzelausscheidungen die Verwesung der organischen Substanz der Ackererde und des Waldbodens im hohen Grade begünstigt werden.
4. Elfenbeinplatten werden nach längerer Zeit von Wurzeln corrodirt.
5. Das Wurzelsecret führt Rohrzucker in reducirenden Zucker über und wirkt schwach diastatisch (Keimlinge, *Neottia nidus avis*).
6. Das Secret durchtränkt nicht blos die Membranen der Epidermiszellen beziehungsweise der Wurzelhaare, sondern tritt über dieselben oft in Form von deutlichen Tröpfchen heraus.